

Klima am Arbeitsplatz

Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse –
Bedarfsanalyse für weitere Forschungen

K. Bux

**Forschung
Projekt F 1987**

**Forschung
Projekt F 1987**

K. Bux

Klima am Arbeitsplatz

**Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse –
Bedarfsanalyse für weitere Forschungen**

Dortmund/Berlin/Dresden 2006

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht zum Projekt „Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse sowie Bedarfsanalyse für weitere Forschung, Regelung und Normung“ - Projekt F 1987 - der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autor: Dr.-Ing. Kersten Bux
Gruppe „Arbeitsstätten“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund
Telefon: (02 31) 90 71 - 0
Telefax: (02 31) 90 71 - 24 54
E-Mail: poststelle@baua.bund.de
Internet: www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40-42, D-10317 Berlin
Telefon: (0 30) 5 15 48 - 0
Telefax: (0 30) 5 15 48 - 41 70

Dresden:
Proschhübelstr. 8, D-01099 Dresden
Telefon: (03 51) 56 39 - 50
Telefax: (03 51) 56 39 - 52 10

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat	4	
Abstract	5	
Résumé	6	
1	Einleitung	7
2	Einteilung der Klimabereiche	8
3.	Physikalische und physiologische Grundlagen	10
3.1	Thermische Behaglichkeit	10
3.2	Erträglichkeit/Hitze	14
3.3	Kälte	16
4	Schwerpunkte des Forschungsbedarfs	17
4.1	Handlungsanleitungen zur Bewertung des Klimas	17
4.2	Messunsicherheiten bei einfachen Klimamessgeräten	18
4.3	Leistungsminderung durch Abweichungen vom Behaglichkeitsbereich	19
4.4	Raumtemperaturen über 26 °C - Sommerfall	20
4.5	Heizperiode und trockene Luft	22
4.6	Simulationsrechnungen des Raumklimas	24
4.7	Hitzebelastung, Entwärmungsphasen und Klimasummenmaße	24
4.8	Anpassung von Schutzmaßnahmen bei Kältearbeit	26
5	Zusammenfassung und Ausblick	27
6	Quellenverzeichnis	28

Klima am Arbeitsplatz

Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse - Bedarfsanalyse für weitere Forschungen

Kurzreferat

Optimale raumklimatische Bedingungen stehen im engen Zusammenhang zu Gesundheit und Zufriedenheit der Beschäftigten. Abweichungen davon bis hin zu Belastungen durch Kälte oder Hitze am Arbeitsplatz führen zu einer Minderung der Leistungsfähigkeit, Unzufriedenheit mit der Arbeit und zu einer möglichen Gefährdung der Sicherheit und Gesundheit. Die Einflussfaktoren auf den Menschen und die Abgrenzungen zwischen den verschiedenen Klimabereichen sind sehr mannigfaltig. Es existieren dazu umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen und im Bereich der Gesetzgebung bzw. der Normung wurden viele Festlegungen getroffen. Ziel des Projektes war es, ausgehend von einer Systematisierung der Klimaproblematik sowie einer Sichtung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse, gesetzlicher Regelungen sowie der Normung im Bereich Klima am Arbeitsplatz (Kälte- und Hitze-arbeitsplätze sowie Behaglichkeitsbereich) Defizite aufzudecken. Im Ergebnis der Studie wurden Schwerpunkte für weitere Forschungsthemen sowie für Regelungs- bzw. Normungsvorhaben vorgeschlagen. Hervorzuheben sind hier die Auswirkung (Minderung Leistungsfähigkeit, Unfallhäufigkeit) und Bewertung sowie die nötigen Maßnahmen bei erhöhten Raumtemperaturen von über 26 °C, die Weiterentwicklung von Klimasummenmaßen zur Bewertung von Arbeit in feuchtwarmen Klimaten, deren Einfluss auf die Physiologie des Menschen und daraus abgeleitete Maßnahmen wie z.B. Entwärmungsregime. Außerdem sind die Wirkungen/Maßnahmen bei trockener Raumluft in der Heizperiode und eine weitere Vervollkommnung von Simulationsrechnungen im Behaglichkeitsbereich sowie eine kritische Betrachtung bestehender Handlungsanleitungen zur Klimabewertung im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung in Bezug auf ihre Aktualität und Praxistauglichkeit von Interesse.

Schlagwörter: Raumklima, Thermische Behaglichkeit, Hitze, Kälte

Climate at the workplace

The state of codes of practice –

Need analysis for further research

Abstract

Optimum room-climate conditions are closely related to employee health and satisfaction. Any deviations from this right through to strains due to cold and heat at the workplace result in an impairment of efficiency, work dissatisfaction and a possible hazard to health and safety. The influencing factors for people and the forms of delimitation for different climate zones are very varied. There exist extensive scientific studies and in the legislative or standardization domain a large number of stipulations have been laid down. The aim of the project was to uncover shortcomings in the area of climate at the workplace (cold and hot workplaces as well as the comfort range), based on a systematization of climate problems and scrutiny of codes of practice, legislative provisions and standards. In the result of the study focal points have been proposed for further research topics and for regulatory and standardization projects. Emphasis is given here to the effect (reduction of efficiency, accident frequency) and to the evaluation and the necessary measures with elevated room temperatures in excess of 26°, the further development of cumulative climatic measures for the evaluation of work in hot, humid climates, their influence on human physiology and measures to be derived from this, e.g. a heat dissipation system. Also of interest are the effects/measures with dry room air in the heating period and a further perfection of simulation calculations in the comfort range as well as a critical examination of existing practical instructions for climate evaluation within the framework of the hazard assessment to establish that they are up to date and usable in practice.

Key words:

room climate, thermal comfort, heat, cold

Le climat au poste de travail

Situation actuelle des codes de la pratique -

Analyse des besoins pour les recherches d'avenir

Résumé

La santé et la satisfaction du personnel ont un rapport étroit avec les conditions climatiques qui prévalent dans la pièce, conditions qui doivent pour le mieux être optimales. Toute divergence, jusqu'à même des sollicitations par le froid ou la chaleur au poste de travail, entrave la capacité productive et entraîne l'insatisfaction avec le travail, ce qui peut même présenter un risque pour la sécurité et la santé. Les facteurs d'influence sur l'être humain et les délimitations entre les différentes zones climatiques sont très diversifiés. Il existe à ce sujet un grand nombre d'études scientifiques, et un grand nombre de prescriptions ont été faites au niveau législatif et/ou normatif. L'objectif du projet était, se basant sur une systématisation de la problématique climatique ainsi que sur une analyse des codes de la pratique, des réglementations légales ainsi que des normes en vigueur dans le domaine du climat au poste de travail (postes de travail exposés au froid et à la chaleur excessifs ainsi que domaine confortable) de découvrir les déficits existants. En résultat, l'analyse a proposé des dominantes pour d'autres thèmes de recherche ainsi que pour des projets de réglementation et/ou de normalisation. Il faut souligner ici l'effet (réduction de la capacité productive, fréquence d'accidents) et l'évaluation ainsi que les mesures nécessaires lorsque les températures ambiantes dépassent 26 °C, le perfectionnement des indices climatiques pour l'évaluation du travail dans les climats humides et chauds, leur influence sur la physiologie de l'être humain et les mesures qui en découlent, par exemple un régime d'extraction de chaleur. En outre, une attention particulière doit être accordée aux effets constatés et mesures à prendre lorsque l'air ambiant est sec pendant la période de chauffage et au perfectionnement encore plus poussé des calculs de simulation dans le domaine de confort ainsi qu'à une analyse critique des instructions d'action existantes pour l'évaluation climatique dans le cadre de l'évaluation des risques encourus pour ce qui est de leur actualité et leur praticabilité.

Mots clés :

Climat ambiant, confort thermique, chaleur, froid

1 Einleitung

Das Raumklima ist ein wesentlicher Umgebungsfaktor bei der Gestaltung von Arbeitssystemen. Ein von den Beschäftigten als behaglich empfundenenes Raumklima wirkt fördernd auf Gesundheit und Arbeitsleistung, Abweichungen davon zu warmen als auch kalten Klimaten wirken dagegen kontraproduktiv. Dabei kann eine Raumtemperatur von 12 °C durchaus optimal sein, wenn Kleidung und Arbeit darauf abgestimmt sind, jedoch würde man dies in keinem Büro tolerieren. Erst das komplexe Zusammenspiel vieler Parameter charakterisiert einen Klimazustand bzw. kann man mit deren Kenntnis diesen objektiv einschätzen. Es existieren dazu umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen (z.B. *Bischof* 2003; *Parsons* 2003) und im Bereich der Gesetzgebung/Regelung (z.B. ArbStättV, ASR 6, KlimabergV) bzw. der Normung (z.B. DIN EN ISO 7730 oder DIN 33403-5) wurden viele Festlegungen getroffen bzw. gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse dokumentiert. Defizite – wie z.B. Aussagen zum Einfluss feuchtwarmer Klimate auf die Physiologie des Menschen und daraus abgeleitete Regelungen für Schutzmaßnahmen oder arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zur Leistungsminderung bei Raumtemperaturen über 26 °C – sind z.T. bekannt, jedoch nicht systematisch erfasst bzw. nicht praktisch anwendbar.

Ziel der Arbeit ist es, aus der Sichtung des derzeitigen Standes der Forschung, Regelsetzung und Normung in Bezug auf die Belastung des Menschen in Arbeitsräumen durch klimatische Faktoren, aus dem Blickwinkel der Belange des Arbeitsschutzes Defizite und Schwerpunkte für weiteren Forschungs- und Regelungsbedarf abzuleiten.

Zur Systematisierung und zum Verständnis des sehr weit gefächerten Fachgebietes wird zunächst eine Einteilung bzw. Abgrenzung der Klimabereiche vorgenommen und für die einzelnen Klimabereiche werden die spezifischen physikalischen und physiologischen Grundlagen aus Sicht des Arbeitsschutzes kurz dargestellt. Im Hauptteil werden die erkannten Defizite erläutert und der entsprechende Handlungsbedarf genannt. Durch den Verweis auf aktuelle Fundstellen wird auf eine vertiefende Ausführung verzichtet.

2 Einteilung der Klimabereiche

Das Klima am Arbeitsplatz kann in vier Bereiche untergliedert werden. In Anlehnung an **DIN Fachbericht 128** sind das Kälte (Kältebereich), Thermische Behaglichkeit (Behaglichkeitsbereich), Erträglichkeit (Zumutbarkeitsbereich) und Hitze (Ausführbarkeitsbereich), wobei hier bei den beiden letztgenannten Bereichen nur die im warmen Klima liegenden gemeint sind. Auch im kalten Klima kann man die Grenzen der Erträglichkeit und Ausführbarkeit zuordnen.

Klimabereich	Temperaturbereich (Lufttemperatur)	Merkmale (beispielhaft)
Kälte	Kühler Bereich (ab +15 bis +10 °C) bis tiefkalter Bereich (unter –30 °C) (DIN 33403-5)	Kontinuierliche Wärmeabgabe durch Körper, Gefahr der Unterkühlung, Stoffwechseleerhöhung, vermehrte Muskeltätigkeit (Muskelzittern)
Thermische Behaglichkeit	Zwischen ca. 10 °C und 28 °C in Abhängigkeit von den Klimafaktoren, Aktivität, Bekleidung und Nutzungskategorie der Räume (DIN EN ISO 7730)	Thermisch neutraler Bereich, Wärmeaustausch mit Umgebung im Gleichgewicht, geringster thermoregulatorischer Aufwand des Körpers, Minimum an Veränderungswünschen bzw. Unzufriedenheit bei den Nutzern
Erträglichkeit (Zumutbarkeit)	Ab ca. 26-28 °C bis ca. 32-35 °C in Abhängigkeit von den Klimafaktoren, Aktivität, Bekleidung, körperlichem Zustand, Dehydratation und Akklimatisation	Vermehrte Schweißabgabe und Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems, in Abhängigkeit von den genannten Randbedingungen kann ein 8-Stunden-Arbeitstag noch ohne Gesundheitsgefährdungen möglich sein
Hitze (Ausführbarkeit)	Ab ca. 32-40 °C (Randbedingungen wie bei Erträglichkeit)	Nur begrenzte Ausführbarkeit der Arbeit, Entwärmungsphasen/Pausen sind nötig, Gefahr von Hitzeerkrankungen

Tabelle 1: Einteilung der Klimabereiche

Der menschliche Körper ist in der Lage, sich unbewusst mit den körpereigenen thermoregulatorischen Funktionen (z.B. Schwitzen bei Hitze, Muskelzittern bei Kälte) sowie bewusst durch die Wahl der Bekleidung, die Intensität der Arbeitsaktivität und Regelung der Aufenthaltsdauer diesen Klimabereichen anzupassen. Die Übergänge zwischen den Bereichen sind fließend und mögliche Reaktionen des Körpers hängen von vielen Faktoren ab. Die trotzdem z.T. klare Einteilung bzw. scharfe Abgrenzung ist aus verschiedenen praktischen Erwägungen entstanden und findet in der Regelsetzung und Normung ihren Niederschlag. Während es relativ klare Ansichten und auch Festlegungen gibt wo der „kühle Bereich“ (DIN 33403-5) beginnt, was ein „Thermisch Behaglicher Raumzustand“ (DIN EN ISO 7730) ist und wie „Hitzearbeit“ (BGI 504-30 - Grundsatz G 30) definiert ist, liegt insbesondere der Erträglichkeitsbereich in einer „Grauzone“. Hier gibt die BGI 5012 (Checkliste zur Klimabewertung und Risikograph Klima) eine praktische Hilfestellung, um in

Abhängigkeit der verschiedenen Randbedingungen eine gegebene Raumklimatische Situation von „schon Hitze“ oder „noch Behaglichkeit“ zu unterscheiden.

Eine einfache Einordnung des Raumklimas mit Hilfe der Lufttemperatur und der Luftfeuchte ist mit einem speziellen psychrometrischen Diagramm (Abb. 1) möglich. Darin wird der Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur, der psychrometrischen Feuchttemperatur und der relativen Luftfeuchte dargestellt. Dieses spezielle Diagramm wurde aus dem psychrometrischen Diagramm (h,x-Diagramm von Mollier) abgeleitet und zur Vereinfachung der Anwendung in orthogonalisierter Form dargestellt. Damit lässt sich der Zustand oder auch eine Zustandsänderung von feuchter Luft beschreiben, d.h. die Beziehung zwischen Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte sowie der Feuchttemperatur. Beispielhaft wurden verschiedene Umgebungsklimate eingetragen. Diese können in der Umwelt in einem weiten Bereich der Lufttemperatur von ca. -50 °C in der Antarktis bis ca. +50 °C in den großen Wüsten streuen. Die Feuchtextreme verdeutlicht die Abbildung 1. Extreme in der Arbeitswelt (z.B. Tiefkühlhaus oder bei Reparatur einer Brennkammer) liegen noch deutlich außerhalb dieser Bereiche.

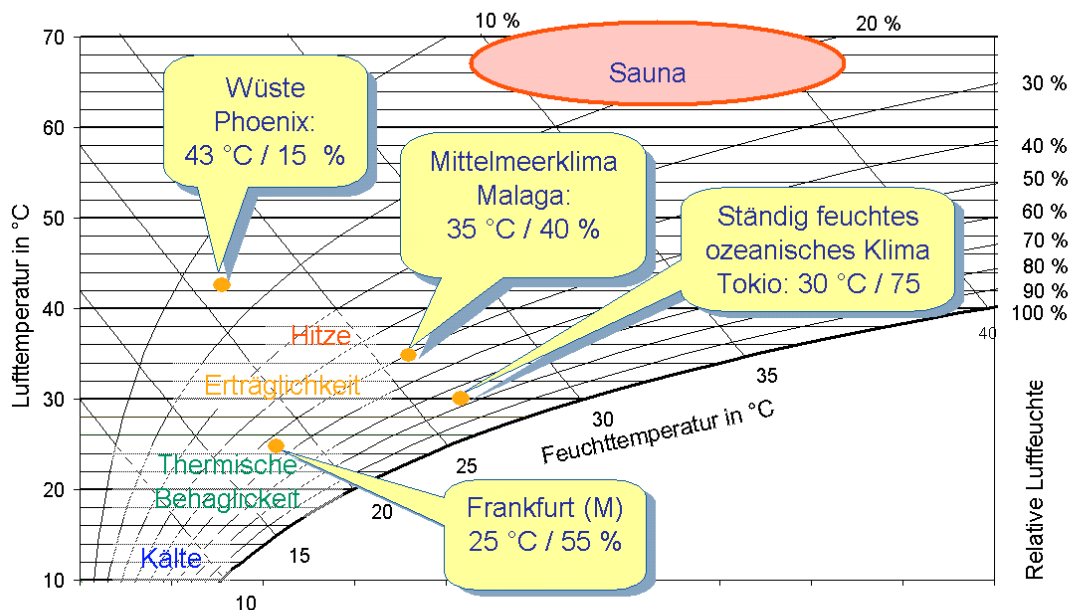


Abb. 1: Darstellung der Klimabereiche im psychrometrischen Diagramm (Beispiele Tagesmittel Juli, Umgebungswerte)

3 Physikalische und physiologische Grundlagen

Ein behagliches Raumklima bzw. gesundheitlich zuträgliche Arbeitsbedingungen bei Hitze oder Kälte ist ein Ziel bei der Gestaltung von Arbeit. Ob sich ein Mensch in einem Büro behaglich fühlt oder nicht, ob er bei Hitze oder Kälte gesundheitlich belastet wird, hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Zu diesen multifaktoriellen Einwirkungen auf den Menschen zählen u.a. neben den raumklimatischen Bedingungen (Temperatur, Feuchte und Geschwindigkeit der Luft sowie die Wärmestrahlung) weitere physikalische Größen wie z.B. Lärm, Schwingungen, Beleuchtung und elektromagnetische Felder. Daneben sind mögliche chemische Stoffe (z.B. Formaldehyd, Lösemittel, Teppichkleber) und Allergene (z.B. Pollen, Milben, Schimmelpilzsporen) in der Raumluft zu beachten. Aber selbst wenn bei den genannten Faktoren kein Mangel festzustellen ist, kann durch psychologische sowie physiologische Faktoren beim Menschen selbst die Ursache liegen. Hier soll nur kurz auf Stress, Mobbing bzw. die persönliche gesundheitliche Verfassung (Konstitution und Disposition) verwiesen werden. Eng damit im Zusammenhang steht auch die Wirkung einer nicht ergonomisch gestalteten Arbeitsumgebung (beengte Räume ohne Farbe, Tageslicht und Blumen, ungeeignete Sitzmöbel), was zumindest Unbehagen hervorrufen kann. Die speziellen physiologischen Grundlagen sind z.B. in *Schmidt Thews* (2000) und auf die Belange der Arbeitswelt ausgerichtete Zusammenhänge in *Grandjean* (1991) enthalten. Den derzeit aktuellen Stand zur Klimaphysiologie in Bezug auf den arbeitenden Menschen gibt umfassend und mit detaillierten Quellenbezügen *Kampmann* (2000).

3.1 Thermische Behaglichkeit

Unter klimatischen Gesichtspunkten wird der Zustand des optimalen Raumklimas für den Menschen mit **thermischer Behaglichkeit** bezeichnet. Thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht. Dieser Zustand hängt von einer Reihe sich z.T. gegenseitig beeinflussenden Faktoren ab. Die DIN EN ISO 7730 fasst die verschiedenen Parameter und ihre Wertebereiche zusammen. Dabei wird die Behaglichkeit mit Index-Werten quantitativ beschrieben. Das **Vorhergesagte mittlere Votum (PMV)** spiegelt die subjektiv empfundene Klimabewertung durch eine große Gruppe von Personen in einer 7-stufigen Skala wieder: von -3 = kalt über 0 = neutral bis +3 = heiß. Der **Vorhergesagte Prozentsatz Unzufriedener (PPD)** stellt die quantitative Vorhersage der Anzahl der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen dar. Dabei erreicht dieser Wert nie 0 %, sondern ist auch bei optimal eingestellten Klimabedingungen immer von mindestens 5 % Unzufriedenen auszugehen. Beide Werte lassen sich aus Klimagrundgrößen berechnen und zwischen beiden besteht ein nichtlinearer funktionaler Zusammenhang, d.h. je wärmer oder kälter es wird, um so mehr Unzufriedene gibt es.

Die klimatischen Bedingungen lassen sich mit vier Grundgrößen beschreiben: Lufttemperatur, Luftfeuchte und Strömungsgeschwindigkeit der Luft sowie die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung bzw. Wärmestrahlung. Diese Faktoren müssen in ihren mittleren Werten im Raum die **Behaglichkeitskriterien** erfüllen

(Globales Behaglichkeitskriterium). Treten trotz dass dies gegeben ist, partikuläre Abweichungen auf, so kann das zu unbehaglichen Zuständen führen. Die lokale Wärmestromdichte an der Hautoberfläche des Menschen weist dann größere Unterschiede auf, was als unbehaglich empfunden wird. So kann es z.B. neben geöffneten Fenstern zu Zugluft kommen oder empfindet eine starke Temperaturschichtung, Strahlungsasymmetrie (kalte Fensterfront) oder kalte Fußböden als unbehaglich. Die physiologischen Auswirkungen dieser Klimagrößen auf einen Menschen sind erst in ihrem Zusammenspiel und unter Beachtung weiterer Einflüsse zu bewerten, wozu im Behaglichkeitsbereich hauptsächlich die Aktivität des Menschen (Arbeitsschwere), die Bekleidungsisolation, die persönliche Konstitution/Disposition und die Raumluftqualität zählen. Eine Änderung jeder dieser Größen wirkt sich auf den Menschen aus und führt zu einer Veränderung des Behaglichkeitsempfindens, wobei die genannten Faktoren eine unterschiedliche Wertigkeit haben.

Die z.B. mit einem vor Wärmestrahlung geschützten Zimmerthermometer in Raummitte gemessene **Lufttemperatur** kann zur Beurteilung des Raumklimas herangezogen werden. Die Normen DIN EN ISO 7730 und DIN EN 13779 enthalten in Abhängigkeit der anderen Faktoren entsprechende Wertebereiche, wobei hier die die Wärmestrahlung mit einbeziehende operative Temperatur (oder Raumtemperatur) verwendet wird. Für Bürogebäude werden hier z.B. Raumtemperaturen für den Winterbetrieb von 19 °C bis 24 °C und für den Sommerbetrieb von 23 °C bis 26 °C als Behaglichkeitsbereich angeben. Bei anderen Randbedingungen ändert sich der auf die Raumtemperatur bezogene Behaglichkeitsbereich.

Die **Luftfeuchte** hat einen relativ weiten und nicht fest umrissenen Behaglichkeitsbereich. Nach oben sollten die in der ASR 5 genannten Werte von z.B. 80 % rel. bei 20 °C und 55 % rel. bei 26 °C nicht überschritten werden. Das Klima wird darüber als unangenehm schwül empfunden. Die Wärmeabgabe durch Schwitzen wird mit zunehmender relativer Luftfeuchte behindert, was mit einer Kreislaufbelastung verbunden ist. Auch können hohe Luftfeuchten in Verbindung mit Baumängeln zu Schäden durch Schimmelbildung an den Wänden führen. Sehr niedrige Luftfeuchten treten vor allem in den Wintermonaten auf, wobei niedrige Luftfeuchten auf Grund des hohen partiellen Dampfdruckes die Schweißverdunstung und damit die Wärmeabgabe unterstützen. Als noch im Behaglichkeitsbereich liegend werden ca. 30 % rel. in der Klimatechnik angenommen.

Insbesondere in Fensternähe oder an Zuluftöffnungen kann es zu **Zuglufterscheinungen** kommen, einer lokalen als unangenehm empfundenen Unterkühlung der Haut (Nacken, Fußgelenke). Muskelverspannung und Erkältungen sind mögliche Folgen. In Abhängigkeit von verschiedenen anderen Faktoren werden in der DIN EN ISO 7730 Geschwindigkeiten der Luft von ca. 0,1 bis maximal 0,24 m/s genannt, die noch nicht als Zugluft empfunden werden. Zu diesen sogenannten partikulären Kriterien der thermischen Behaglichkeit zählen weiterhin die **Strahlungsasymmetrie** (erhöhte Wärmestrahlung eines heißen Heizkörpers oder nur geringe Wärmestrahlung einer kalten Fensterfläche im Winter), die **Oberflächentemperatur des Fußbodens** (unangenehm kalter Fußboden im Erdgeschoss, Optimum liegt bei ca. 24 °C) und die **vertikale Temperaturschichtung** der Raumluft (z.B. überhitzter Wohnraum im Altbau mit Ofenheizung). Für diese Parameter gibt es keine festen Grenzen ab denen es

unbehaglich wird, sondern es werden Zusammenhänge zwischen Zahlenwert des Parameters und zugehörigem Prozentsatz von Unzufriedenen angegeben. Eine ausführliche Darstellung der Behaglichkeitskriterien und der technischen Möglichkeiten (Art und Anordnung von Heizungs- und Lüftungssystemen, Wärmeschutzniveau), um diese z.B. in Büro- oder Wohnräumen erfüllen zu können, wird z.B. von *Richter* (2003) gegeben.

Die **Arbeitsschwere** bestimmt wesentlich den Energieumsatz im menschlichen Körper. Bei Ruhe sind dies bereits ca. 70-80 W. Bei leichter Arbeit im Sitzen, z.B. Büroarbeit, kann sich dies um ca. 100-130 W auf insgesamt fast 200 W erhöhen. Der Körper muss dann mit seinen **Entwärmungsmechanismen** - Konvektion, Strahlung, Schweißverdunstung, Atmung und Wärmeleitung - die überschüssige Wärme nach außen führen. Dies geschieht im Behaglichkeitsbereich etwa zu 45 % durch Strahlung und zu je ca. 27 % durch Konvektion und Schweißverdunstung. Wärmeleitung und Atmung spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die genannten Zahlenwerte dienen der Orientierung, je nach Randbedingung und zitierter Quelle schwanken diese. Bei höheren Temperaturen übernimmt zunehmend und ab ca. 34-36 °C fast ausschließlich die Schweißverdunstung die Funktion der Wärmeabgabe.

Die **Bekleidung** wirkt grundsätzlich hemmend auf die Entwärmungsmechanismen und damit als Wärmeisolator. Gleichzeitig regelt sie durch die Aufnahme des Schweißes den Verdunstungsmechanismus. Schlussfolgernd wird deutlich, dass bei einem gegebenen raumklimatischen Zustand durch verstärkte Arbeit oder unpassend dicker Bekleidung der Beschäftigte es nicht mehr als behaglich empfindet sondern als zu warm. Sein Körper muss einen erhöhten thermoregulatorischen Aufwand betreiben, um seine Körperinnentemperatur auf ca. 37 °C konstant zu halten. Er reagiert dann mit verstärkter Hautdurchblutung und Schwitzen, was mit erhöhtem Puls bzw. sinkendem Blutdruck und damit einer Kreislaufbelastung verbunden ist. An einem kühlen Sommertag mit nur dünner Kleidung und geringer Aktivität kann es dagegen zum Kälteempfinden kommen. Der Körper versucht durch eine gesteigerte innere Wärmeproduktion sowie durch eine Drosselung der Wärmeabgabe der Haut dies zu kompensieren, was sich unter anderem in Muskelzittern oder einer „Gänsehaut“ bemerkbar macht. Dem kann man bewusst mit zusätzlicher Kleidung oder körperlicher Bewegung entgegensteuern und so wieder in den Zustand der thermischen Behaglichkeit gelangen.

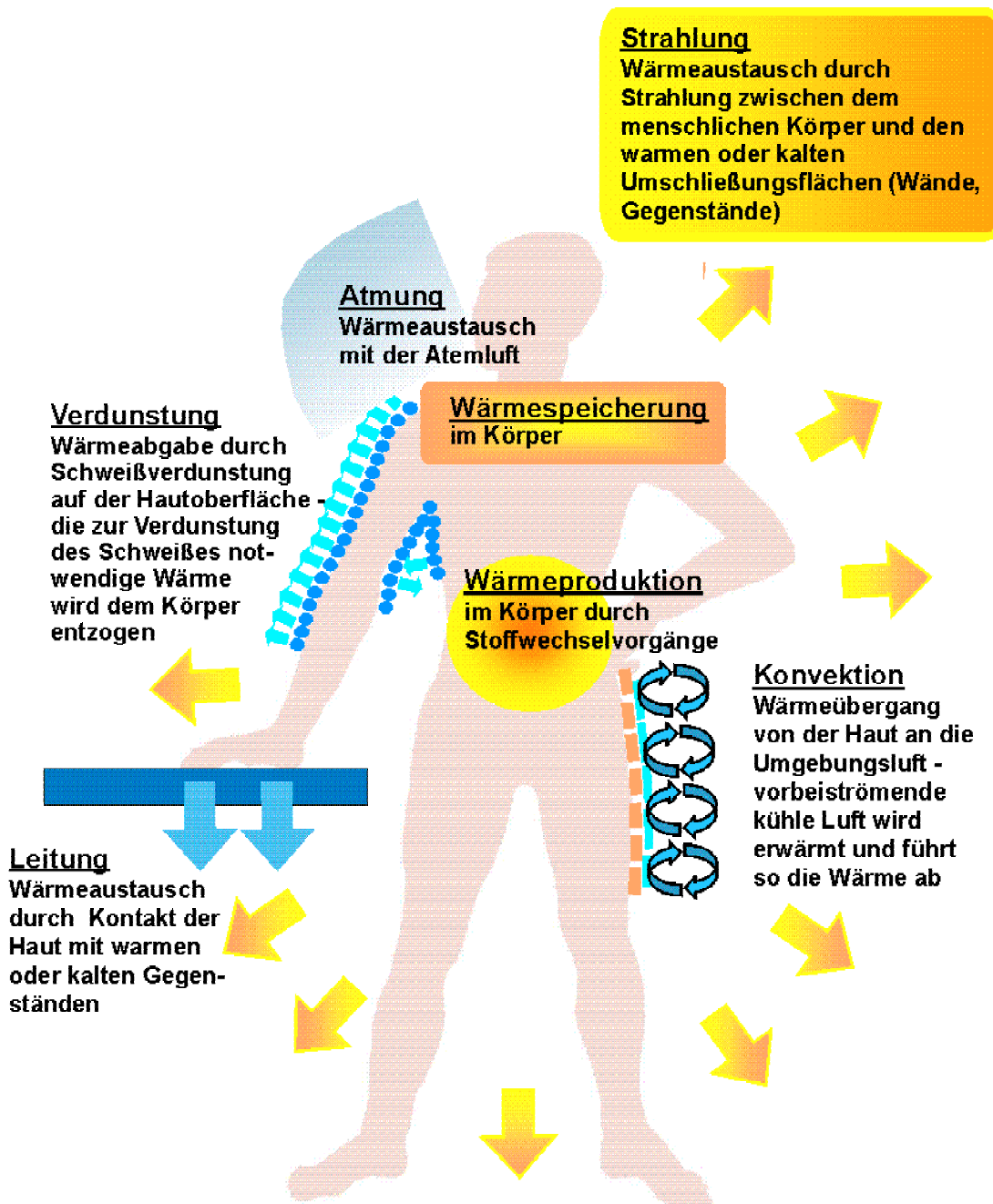


Abb. 2: Mechanismen der Thermoregulation des menschlichen Körpers

Die **Raumluftqualität** wird wesentlich durch z.B. aus Baumaterialien emittierte chemische Stoffe und vom Menschen selbst abgegebene Stoffe wie z.B. Kohlendioxid bestimmt. Während die Konzentration **chemischer Stoffe** bauseitig bzw. durch die Wahl der Einrichtungsmaterialien in einem gewissen Umfang beeinflusst werden kann, sind die menschlichen Emissionen nutzungsbedingt nicht vermeidbar. Eine Erhöhung des **natürlichen Kohlendioxidgehalts der Luft** (ca. 350 - 400 ppm) wird hauptsächlich durch die Atmungsaktivität des Menschen verursacht. Die Konzentration stellt sich in Abhängigkeit vom Verhältnis der Aktivität des Menschen zum **Luftwechsel** ein und ist ein Vergleichsmaßstab für die Belastung des

Raumes durch die Ausdünstungen von Personen (Bioeffluenzen). Dabei spielt die sich ausbildende Raumströmung (Durchmischung) eine wesentliche Rolle. Trotz hoher Luftwechselzahlen können sich Bereiche mit „Alter Luft“ einstellen und sich darin aufhaltende Personen werden nicht ausreichend mit Frischluft versorgt. Nach DIN EN 13779 (2005) sollten je nach angestrebter Kategorie¹ der Raumluftqualität 800 bis ca. 1500 ppm nicht überschritten werden, wobei hier auch auf den früher üblichen Pettenkofer-Maßstab von 1000 ppm verwiesen wird, ab dem die Raumluft als geruchlich unangenehm bzw. „verbraucht“ empfunden wird. Kohlendioxid ist in diesen Bereichen toxikologisch unbedenklich.

3.2 Erträglichkeit/Hitze

Als Hitze wird ein Klimazustand bezeichnet, bei dem auf Grund äußerer Wärmebelastung die Abfuhr der im menschlichen Körper erzeugten Wärme erschwert ist. Im Erträglichkeitsbereich wirken in etwas abgeschwächter Form die gleichen Faktoren und in der Fachwelt wird meist kein direkter Unterschied zur Hitze getroffen, beide Klimabereiche werden hier deswegen zusammen behandelt. Grundlegende Zusammenhänge enthält DIN 33403-2. *Kampmann* (2003) stellt umfassend den derzeitigen Erkenntnisstand auf dem Gebiet der Klimaphysiologie in Bezug zur Arbeitswelt dar. Die physiologischen Auswirkungen klimatischer Belastungen auf einen arbeitenden Menschen werden hier noch stärker als im Behaglichkeitsbereich durch das Zusammenspiel der vier Klimagrundgrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strömungsgeschwindigkeit der Luft und Wärmestrahlung) und weiterer Faktoren beeinflusst wie z.B.: Arbeitsschwere, Bekleidungsisolations, Expositionszeit, Akklimatisation, Leistungsvoraussetzungen (Kondition und Disposition) und Wasser- und Salzverlust (Dehydratation). Sie bestimmen letztlich die Wärmebilanz zwischen dem Menschen und seiner Umgebung, wobei sich jede Änderung dieser Größen auf den Menschen auswirkt. Die Vielzahl der Einflussfaktoren erschwert eine objektive Bewertung von gleichen und unterschiedlichen Klimawirkungen. Der Wärmeaustausch des Körpers mit seiner Umgebung wird dabei von den vier klimatischen Grundgrößen in folgender Weise bestimmt:

- **Lufttemperatur:** Ist die Lufttemperatur kleiner als die Hauttemperatur tritt durch konvektiven Wärmeaustausch Abkühlung auf. Im umgekehrten Fall wird dem Körper Wärme zugeführt.
- **Luftfeuchtigkeit:** Bei geringer relativer Luftfeuchte verdunstet Schweiß auf der Haut gut und kühlt diese dadurch. Mit zunehmender relativer Luftfeuchte wird diese Art der Kühlung gehemmt. Bei hoher relativer Luftfeuchte tropft der Schweiß ohne Kühlwirkung ab.
- **Luftgeschwindigkeit:** Eine zunehmende Luftgeschwindigkeit kühlt stärker, solange die Lufttemperatur kleiner ist als die Hauttemperatur (Mittelwert ca. 32 °C) ist. Bis ca. 37 °C Lufttemperatur kann der Luftstrom noch gut Wärme durch Schweißverdunstung abführen (i.A. von der relativen Luftfeuchte!). Bei noch höheren Lufttemperaturen versagt auch dieser Mechanismus.

¹ Von RAL 1 spezielle bis RAL 4 niedrige Raumluftqualität

- **Wärmestrahlung:** Wärmere Oberflächen als die Haut erwärmen den Körper zusätzlich. Die Wärmestrahlung sehr heißer Oberflächen kann zu Schmerzempfinden oder Verbrennungen führen.

Die bei den Stoffwechselfvorgängen im Körper entstehende Wärmeleistung (metabolische Wärmeproduktion) beträgt im Ruhezustand ca. 70-80 W (Ruhe- oder Grundumsatz), bei schwerer **Körperarbeit** kann sie sich auf ein Mehrfaches erhöhen (Einteilung nach DIN EN ISO 8996 in vier Stufen, z.B. Stufe 3 schwere Arbeit Energieumsatz ca. 360 – 460 W bei z.B. Arbeiten mit Vorschlaghammer). Damit die Körperkerntemperatur nicht ansteigt, muss diese Wärme vom Körper an die Umgebung abgegeben werden. Eine Überwärmung des Körperkerns kann durch das Zusammenwirken hoher Umgebungstemperaturen und Luftfeuchten, der Wärmestrahlung, schwerer Körperarbeit sowie der Wärmeisolation durch **Bekleidung** entstehen. Die physiologische Reaktion darauf ist eine stärkere Durchblutung der Körperperipherie, verbunden mit einer Zunahme der Herzfrequenz und ein vermehrtes Schwitzen. Bei Lufttemperaturen ab über etwa 34-36 °C kann als Entwärmungsmechanismus nur noch die Schweißverdunstung wirksam werden. Bei gleichzeitig hohen Werten der relativen Luftfeuchte und geringen Luftgeschwindigkeiten ist auch dieser Mechanismus zunehmend eingeschränkt. Reichen die genannten Entwärmungsmechanismen nicht mehr aus, kommt es zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur. Bei Überschreitung von Schwellenwerten sind Entwärmungsmaßnahmen erforderlich (z.B. Verlassen des klimatisch belasteten Bereiches). Als oberer Grenzwert für die Körperkerntemperatur sollte der Wert von 38 °C nicht überschritten werden (z.B. nach DIN EN ISO 9886). In manchen Literaturstellen werden bis zu 39 °C angegeben (Zusammenstellung in *Pangert et al.* 2003). Auch Erfahrungen aus dem Bergbau mit akklimatisierten Personen zeigen, dass gelegentlich Überschreitungen von 38 °C hier toleriert werden (*Kampmann 2000*).

Als **Akklimatisation** wird die trainierbare Anpassung des menschlichen Körpers gegenüber Hitze bezeichnet. Sie lässt den Menschen höhere Raumtemperaturen erträglich empfinden und befähigt ihn, früher und mehr zu schwitzen. Die unmittelbare Folge sind - verglichen mit nicht akklimatisierten Personen bei gleicher Belastung - eine niedrigere Körperkern- und Hauttemperaturen, sowie eine niedrigere Pulsfrequenz. Gleichzeitig ist der Schweiß des an Hitzearbeit angepassten Körpers salzärmer. Akklimatisierung an Hitzearbeit bei hoher Arbeitsleistung wird vollständig meist erst nach mehreren Wochen abgeschlossen. Bei typischen Berufstätigkeiten (z.B. Bergmann) ist die Akklimatisation nach ca. fünf Tagen im Wesentlichen eingeleitet, geht jedoch nach kurzer Zeit (ca. 1-2 Wochen) wieder verloren, wenn z.B. durch einen Urlaub die Arbeit in Hitze unterbrochen wird.

Bei starker Hitzeexposition kann der Körper eines akklimatisierten Menschen bis zu vier Liter Schweiß je Stunde produzieren. Die Schweißabgabe lässt jedoch infolge Ermüdung der Schweißdrüsen oder ein Aufquellen der Haut bei starker Befeuchtung und damit verbundenem Verschluss der Schweißdrüsen bald nach, eine abschließende Klärung dieses Effekts steht noch aus. Als zulässiger Höchstwert der Schweißabgabe werden bei Industriearbeitern 600-800 g bzw. 3-6 l in der 8-Stunden-Schicht genannt. Wenn gleichzeitig nicht ausreichend getrunken wird kann eine Wasserverarmung des Körpers (**Dehydratation**) in Verbindung mit einem Verlust an Elektrolyten (Salz) auftreten. Wasserverluste von 1 bis 2 % des Körpergewichtes sind vom Durst abgesehen noch zu vernachlässigen, dann treten Minderungen der

Leistungsfähigkeit auf, Verluste von mehr als 10 % können lebensbedrohlich werden. Der Elektrolytverlust sollte durch zusätzliche Gabe von Kochsalz und Kohlenhydraten ausgeglichen werden.

3.3 Kälte

Auf „**Kälte**“ reagiert der Körper mit einer Minderdurchblutung des Körperoberflächengewebes, um die Wärmabgabe (siehe Abb. 2) zu minimieren. Während dabei der Körperkern auf die notwendigen 37 °C konstant gehalten wird, kommt es zu einer zunehmenden Abkühlung der Extremitäten. In kalter Umgebung wird dabei für arbeitende Menschen eine mittlere Hauttemperatur von nicht unter 30 °C (DIN 33403-5) und eine minimale Körperkerntemperatur von 36 °C (prEN ISO 9886) als erträglich (zumutbar) angesehen. Dabei kann es aber bereits zu einer deutlichen Unterkühlung an den Extremitäten (z.B. Hände, Füße, Kopf und Gesicht) kommen. Insbesondere am Kopf (Nase, Kinn, Ohren) sowie den Zehen und Fingern können rasch lokale Unterkühlungen bis zu Erfrierungen auftreten, was ab Hauttemperaturen von unter 12 °C zu befürchten ist. Da mit entsprechender Kälteschutzkleidung sowie organisatorischen Maßnahmen (Reduzierung der Kälteexpositions- und ausreichende Aufwärmzeiten) die Gesamtwärmbilanz ausgeglichen gehalten und damit eine Unterkühlung des Körpers vermieden werden kann, liegt das größere Problem bei der Kältarbeit in der Gefahr lokaler Kälteschädigungen.

Zur **Bewertung von Kälte** sind die Lufttemperatur und die Luftgeschwindigkeit maßgebend. Auf ungeschützten Hautoberflächen führt Zugluft zur erheblichen Verstärkung der Abkühlung, Werte von 0,2-0,3 m/s gelten als zumutbar. Die Lufttemperatur ist hier die maßgebende Größe zur Einteilung in fünf Kältebereiche (DIN 33403-5) von +15 bis +10 °C „Kühler Bereich“ (keine besonderen Kälteschutzkleidung nötig) bis unter -30 °C „Tiefkalter Bereich“ (höchste Schutzstufe). Da die absoluten Luftfeuchten hier sehr niedrig sind und nahe der Sättigungskurve liegen, ist der Einfluss aus arbeitsphysiologischer Sicht vernachlässigbar. Gleiches gilt für die Wärmestrahlung, die negativ in die Wärmebilanz des Menschen eingeht und durch die abschirmende Wirkung der Wärmeschutzkleidung nur geringe Werte annimmt. Ein kompakte Übersicht zur Kältarbeit gibt *Technik 32*.

4 Schwerpunkte des Forschungsbedarfs

Im Folgenden werden die im Rahmen der Studie ermittelten Schwerpunkte dargestellt, bei denen weiterer Forschungs-/Handlungsbedarf besteht oder Defizite erkannt wurden. Dabei wurde bei der historisch gewachsenen großen Zahl von Quellen nur auf die jeweils aktuellen Darstellungen zurückgegriffen. Darin sind teilweise sehr ausführliche Quellenrecherchen enthalten.

4.1 Handlungsanleitungen zur Bewertung des Klimas

Zur Bewertung der raumklimatischen Situation im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz gibt es verschiedene **Handlungsanleitungen**, die meist allgemeinverständlich und aus unterschiedlichen Blickwinkeln die verschiedenen Aspekte betrachten. Diese sind geeignet, sich in das Gebiet einzuarbeiten, einfache Erhebungen (Messungen) und eine Bewertung insbesondere in Bezug auf die Arbeitswelt vorzunehmen. In *LASI LV 16* (1999) werden vor allem Messung und Bewertung der Klimaparameter beschrieben. Ähnlich aufgebaut ist die *Arbeitsmappe Klima* (1996) und in etwas einfacherer Form *Föllner* (1997). Eine zusammenfassende Darstellung zu Grundlagen, Messung und Bewertung des Klimas geben *Zülch* (1999) und *Köther* (2001), wobei hier zusätzlich weitere Faktoren (Lärm, Beleuchtung, ...) enthalten sind. Eine einfache Anleitung zur Bewertung des Klimas gibt die **BGI 5012**, speziell von Hitzearbeit die **BGI 899**. Das modulare Meßsystem zur Beurteilung des Klimas am Arbeitsplatz von *Hettinger et al.* (1990) ergänzt diese Anleitungen. Dabei ist zu beachten, dass die Bewertungsgrundlagen und messtechnischen Methoden sich am jeweiligen Stand der Technik orientieren, der sich in der jeweiligen Normung/Regelung wiederfindet. In der folgenden Tabelle findet sich eine Auswahl diesbezüglich relevanter Normen und Regeln in der aktuellen Fassung.

Norm, Regel	Inhalt, Anwendung, Bemerkungen
DIN EN ISO 7730 (2003-10)	Grundlegende Norm zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit (globale und partikuläre Parameter) mit Angabe der konkreten Wertebereiche
DIN EN ISO 15265 (2004-08)	Vorgehen zur Stufen weisen Bewertung des Klimas (1. Beobachtung, 2. Analyse, ...)
DIN Fachbericht 128 (2003)	ist Weiterführung der zurückgezogenen DIN 33403-1 (2001-06), Messung der Klimagrundgrößen
DIN 13779 (2005-05)	Ersetzt die zurückgezogene DIN 1946-1, Anwendung von DIN EN ISO 7730 für Räume mit RLT- Anlagen
ASR 5 (1979-10)	noch bis 2010 gültig, Lüftungsregeln (frei und maschinell) für Räume von Arbeitsstätten ohne Belastung mit Gefahrstoffen
ASR 6 (2001-05)	noch bis 2010 gültig, Angabe von geeigneten Raumtemperaturen in Räumen von Arbeitsstätten
BGI 5012 (2005-05)	Praxisbezogene Handlungsanleitung zur Klimabewertung insbesondere in KMU, einfache Bewertung mit „Risikograph Klima“ und Folgerung von Maßnahmen

Tabelle 2: Normen und Regeln zur thermischen Behaglichkeit (Auswahl)

Fazit: Praxisbezogene Handlungsanleitungen zur Klimabeurteilung am Arbeitsplatz sind für eine Gefährdungsbeurteilung nach § 5 ArbSchG notwendig, wie z.B. für die Umsetzung der allgemeinen Vorgaben der ArbStättV (z.B. Anhang 3.6 „In Arbeitsräumen ... muss ... eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur bestehen“). Dafür gibt es verschiedene Handlungsanleitungen, die aus unterschiedlichen Quellen zusammengestellt sind. Durch Änderungen in der Gesetzgebung/Normung bzw. neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse besteht Aktualisierungsbedarf. Zusätzlich sollte deren praktische Handhabbarkeit und Akzeptanz bezüglich potentieller Adressaten im Arbeitsschutz (z.B. Arbeitgeber und Beschäftigte in KMU, Sicherheitsfachkräfte) überprüft werden.

4.2 Messunsicherheiten bei einfachen Klimamessgeräten

Zur Messung der verschiedenen Parameter des Raumklimas werden seitens der Industrie eine Vielzahl von unterschiedlichen Messgeräten angeboten. Neben den kommerziellen Geräten, die kalibriert ausgeliefert und später auch meist fachmännisch gewartet werden, gibt es im Handel einfache und kostengünstige Geräte (Konsumgüterproduktion). Diese Geräte werden außer im privaten Bereich

auch in der Wirtschaft wie z.B. in Büros eingesetzt. In der Regel sind das einfache Messgeräte zur Bestimmung von Temperatur und Feuchte der Luft, die auf verschiedenen physikalischen Prinzipien beruhen: z.B. elektrisch mit Widerstandsänderung oder mechanisch mit Längen-/Volumenänderung. Es gibt Einzelgeräte und Kombinationen beider Parameter sowie mit analoger oder digitaler Anzeige. Eine erste stichprobenhafte Prüfung und allgemeine Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass oft erhebliche Abweichungen vom Soll-Wert angezeigt werden. Bei Temperaturmessgeräten wurden bis zu $\pm 2-3$ K und bei Feuchtemessgeräten bis zu $\pm 10-15$ % rel. festgestellt. Speziell bei digitaler Anzeige wird eine zu hohe Genauigkeit suggeriert und die tatsächlichen Messunsicherheiten sind oft nicht bekannt. Bei der Anwendung in der Praxis - ob im Büro oder Haushalt - kann dies zu erheblichen Fehlinterpretationen führen. Werden z.B. zu niedrige Temperaturen ausgewiesen, so kann das in der Heizperiode zur Überwärmung der Räume führen. Der Nutzer erhöht dabei unnötig die Heizleistung, um die gewünschte Soll-Temperatur entsprechend der fehlerhaften Anzeige seines Gerätes zu erreichen. Diese raumklimatisch unbehagliche Situation wirkt im Büro leistungshemmend und der Energieverbrauch steigt. Falsch angezeigte Luftfeuchten können zu einem ungünstigen Lüftungsverhalten führen oder zu Fehleinschätzungen bei extrem trockener Luft im Winter oder sehr hohen Feuchten im Sommer.

Fazit: Es sollte eine Übersicht zum Stand verfügbarer Messgeräte erstellt und mit einer repräsentativen Prüfung von aus dem Handel zu beziehenden Geräten deren Messtoleranzen ermittelt sowie die Gebrauchstauglichkeit/Bedienerfreundlichkeit eingeschätzt werden. In Auswertung solcher Messungen/Prüfungen kann eine Handlungsempfehlung für den Praktiker erstellt werden, die ihm bei der Auswahl/Beschaffung sowie bei Einsatz/Anwendung eine Hilfestellung gibt. Auch könnte eine einfache Anweisung zur Überprüfung der Genauigkeit (im Sinne einer Kalibrierung) eines gekauften Gerätes entwickelt werden.

4.3 Leistungsminderung durch Abweichungen vom Behaglichkeitsbereich

Die Wirkungen des Klimas auf die Leistungsfähigkeit des Menschen ist ein bereits seit vielen Jahrzehnten bearbeitetes Gebiet. Es wurden verschiedene Tests entwickelt, mit denen die Minderung u.a. der physischen, psychischen und psychisch-motorischen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Klimaparameter und z.T. gleichzeitig anderen Faktoren (Lärm) ermittelt wurden. So tritt z.B. bei Abweichungen der Raumtemperatur nach unten und oben vom Behaglichkeitsbereich eine signifikante Minderung der Leistungsfähigkeit auf, wobei die große Streubreite der Ergebnisse aus verschiedenen Studien auffällig ist. Eine zusammenfassende Darstellung zum aktuellen Wissensstand geben u.a. *Kampmann* (2000) und *Parsons* (2003). Demnach liegt eine gute Datengrundlage für den Hitzebereich vor. Die „Grauzone“ (oberhalb 26 °C bis ca. 32-36 °C) mit großer Streubreite (z.B. Minderung der Produktivität um 3-12 %!) und oft unklaren Aussagen zeigen u.a. *Parsons* (2003), *Säppänen* (2004), *Hellwig* (2004). Abb. 3 zeigt ein häufig in der Literatur zu findende zusammenfassende Darstellung dazu. Die fehlenden Randbedingungen und Streubereiche sowie der z.T. unplausibel steile und lineare Abfall der Parameter (ausgehend von 23 °C bzw. 26 °C) führt hier in der Praxis oft zu Fehlinterpretationen.

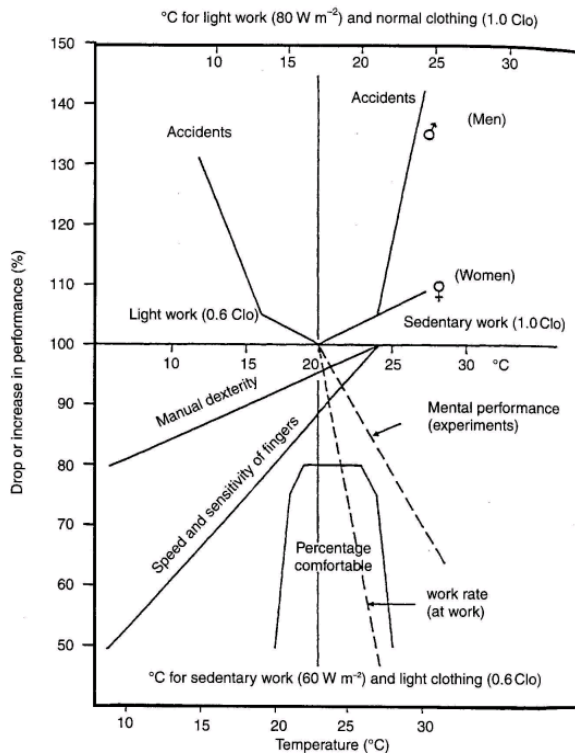


Abb. 3: Wirkungen der Lufttemperatur auf verschiedene Leistungsparameter (Wyon 1986)

Fazit: Es sollte eine systematische Erhebung des aktuellen Erkenntnisstandes im Erträglichkeitsbereich (ca. 26 °C bis ca. 32-36 °C) bzgl. der Auswirkungen auf den arbeitenden Menschen vorgenommen werden. Ggf. kann eine Ableitung von ergänzend nötigen weiteren Labor- und Feldversuchen mit Probanden erfolgen. Ziel ist die Darstellung einer objektiven Quantifizierung der Leistungsminderung (bzgl. physischer, psychischer bzw. psychisch-motorischer Merkmale). Eine statistische Auswertung klimatisch bedingter Unfall-/Krankheitszahlen würde die dazu geführte öffentliche Diskussion und die Notwendigkeit zur Ableitung von Handlungsmaßnahmen und/oder praxisgerechten Handlungshilfen objektivieren.

4.4 Raumtemperaturen über 26 °C - Sommerfall

Seit einigen Jahren nimmt auch auf Grund sich wandelnder außenklimatischer Bedingungen (zunehmende globale Erwärmung der Erdatmosphäre verbunden mit lokalen Klimaextremen wie z.B. der heiße Sommer 2003 in Mitteleuropa) das Problem der Sommerhitze mit überhitzten Räumen zu. Hierbei ist der Fall „allgemeiner länger anhaltender Sommerhitze“ (sog. Hundstage 23. Juli - 24. August) und Überhitzung der Räume durch „Sonneneinstrahlung in Kombination mit Baumängeln“ („Treibhauseffekt“) zu unterscheiden.

Für den ersten Fall wird über eine Regelung der ASR 6 eine grundsätzliche Orientierung zum Umgang mit diesem Problem in der Arbeitswelt gegeben. Die ASR 6 trifft unter Pos. 3.3 die Aussage, dass in Arbeitsräumen die Lufttemperatur nicht +26 °C überschreiten soll, was Sommer wie Winter gilt und womit insbesondere eine Überhitzung durch Maschinen oder Heizungsanlagen vermieden werden soll.

Jedoch „darf bei darüber liegenden Außentemperaturen in Ausnahmefällen die Lufttemperatur höher sein.“ Zu Höhe und Häufigkeit dieser Überschreitung wird keine Aussage getroffen. Ein Rechtsanspruch auf ständige Einhaltung der 26 °C besteht nicht und damit sind Maßnahmen wie z.B. Hitzefrei, der Einbau von Klimaanlage oder zusätzliche Getränke nicht zwingend. Hier sind dagegen eine Kombination von verschiedenen technischen und organisatorische Maßnahmen, die zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer speziell vereinbart werden müssen, sowie die Anpassung des persönlichen Verhaltens der Beschäftigten an die Hitze angeraten (*Bux* 2005).

Im Gegensatz zu diesem Fall „allgemeiner Sommerhitze“ (Hundstage) ist die Sach- und Rechtslage eine andere, wenn in Arbeitsräumen bereits im Frühling an sonnigen Tagen deutlich über 26 °C liegende Lufttemperaturen gemessen werden, trotz dass die Außentemperaturen darunter liegen. Dann besteht der Verdacht auf einen **Baumangel**. Große Glasfassaden oder Oberlichter, schlecht isolierte Außenwände, leichte Bauweise sowie ungenügender Sonnenschutz können dafür die Ursache sein. Es entwickelt sich gewissermaßen ein Treibhauseffekt, der die Innenräume unnötig aufheizt. Eine Feststellung kann im Einzelfall nur vom Fachmann vorgenommen werden. Oft führt dies zu Rechtsstreitigkeiten mit hohen Kosten für Gutachter, Gericht und Anwalt sowie für die eigentlichen Sanierungsmaßnahmen. Einen Höhepunkt hat dies mit dem „Klimaurteil“ des *Landgericht Bielefeld* (2003) erreicht, dass eine breite öffentliche Diskussion und eine Verstärkung der z.T. bereits bestandenen Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet zur Folge hatte. Dort wurde ein Vermieter dazu verklagt, in den Arbeitsräumen der beiden Obergeschosse bei Außentemperaturen von bis zu 32 °C für Innentemperaturen von maximal 26 °C zu sorgen und bei darüber liegenden Werten eine Differenz von 6 K zur Außentemperatur zu gewährleisten. Auf Grund der Bauweise mit großen Glasfronten machte dies nachträglich Sonnenschutzmaßnahmen und den Einbau einer Klimaanlage notwendig, um die gerichtliche Forderung zu erfüllen. Das Beispiel zeigt, dass solange thermisch behagliche Zustände herrschen, das Raumklima für den Beschäftigten kein Problem darstellt. Steigen die Werte deutlich und oft darüber, kann es zu kostenintensiven Rechtsstreitigkeiten kommen.

In der auf die Belange des Arbeitsschutz ausgerichteten Darstellung zur „26 °C-Problematik“ von *Pangert* (2003) werden dazu die rechtlichen und physikalischen Hintergründe zusammengefasst. Eine Darstellung zur Herkunft des „26 °C-Wertes“ und zum Umgang damit in der Vertragspraxis im Mietrecht gibt *Hausladen* (2004). *Hausladen* (2004) und *Hellwig* (2004) erörtern neue Forschungsergebnisse und Methoden zur Messung/Bewertung des Raumklimas in Bezug auf thermische Behaglichkeit unter hochsommerlichen Bedingungen. *Schweres* (2003) leitet vor allem die Notwendigkeit des Schutzes vor direkter Sonneneinstrahlung ab. Einen Überblick zum derzeitigen Stand des Hitze- und Lichtschutzes an Gebäuden gibt *Quistorp* (2001). Die Anpassung an das Klima bzw. des temperaturabhängige Wohlbefinden des Menschen bei Temperaturen oberhalb 26 °C werden von *Linden* (2002) und *Erlandson* (2003) beschrieben. *Linden* (2002) entwickelt damit einen Ansatz für eine an sommerliche Bedingungen angepasste Definition der „Komforttemperatur“. Temperaturen über 26 °C werden im Sommer durch unbewusste und verhaltensbedingte Anpassung nicht zwangsläufig als unbehaglich empfunden. In der Normung wird dieser Umstand bereits mit jahreszeitlich und an Nutzerkategorien (von Kategorie A hohe Anforderung bis C geringe Anforderung) angepasste Behaglichkeitskriterien berücksichtigt. Nach prEN ISO 7730 werden z.B.

im Sommer bis 27 °C (operative Raumtemperatur) für die Kategorie C als Bemessungskriterium vorgeben und mit Anpassung von Bekleidung, körperlicher Aktivität und Luftgeschwindigkeit bis 28 °C (z.T. 29 °C) als noch komfortabel gewertet. Für die obere Grenze kann davon ausgegangen werden, dass die Behaglichkeitstemperatur für einen unbedeckten Menschen im Ruhezustand bei ca. 30 °C liegt.

Fazit: Der objektive Umgang mit der Problematik erhöhter Temperaturen in Räumen verursacht durch Sonneneinstrahlung bedarf aus verschiedenen Gesichtspunkten einer weiteren Vertiefung. Die Grundsätze der bautechnischen Gestaltung der Gebäude (z.B. massive Bauweise, primärer Sonnenschutz, Nutzung der natürlichen Lüftung) zur Vermeidung von Überwärmung durch Sonneneinstrahlung sind bekannt, jedoch unterliegt die Ausführung oft anderen Gesichtspunkten (z.B. Wunsch des Bauherren nach viel Licht). Die Findung kombinierter Lösungen zum sommerlichen Wärmeschutz ohne Zwangsklimatisierung (auch aus energetischen Gründen!) und unter Anwendung einer durch die Nutzer beeinflussbaren freien Lüftung sind nötig.

Eine mögliche Anpassung zulässiger Raumtemperaturen an sommerliche Behaglichkeitskriterien sollte in der Regelsetzung überdacht werden. Dabei ist zu klären was behaglich bzw. zumutbar ist, was technisch/ökonomisch realisierbar ist und für welchen Zeitraum (z.B. Juni-August) solche Kriterien angesetzt werden können.

4.5 Heizperiode und trockene Luft

Die Erzeugung eines behaglichen Raumklimas in der kühlen Jahreszeit ist weniger problematisch als im Sommer. Die meisten Gebäude sind ausreichend wärmedämmend und verfügen über effiziente Heizungsanlagen. Dies wird auf einem hohen Niveau mit der Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) geregelt. Die Einstellung behaglicher Temperaturen ist in den meisten Fällen gewährleistet. Die Problematik liegt oft in der durch das Lüftungsverhalten sich einstellenden schlechten Raumluftqualität. Die Folge sind niedrige Luftfeuchten und Anreicherungen der Raumluft mit Emissionen von chemischen Stoffen aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen sowie Ausdünstungen des Menschen (vor allem Kohlendioxid aus der Atmung). Insbesondere in Zellenbüros (Ein- und Zweipersonen - Büro) mit der dort meist praktizierten freien Lüftung kann es zu diesen Erscheinungen auf Grund eines ungenügenden Lüftungsverhalten mit meist geschlossen gehaltenen Fenstern kommen. In Gruppen- und Großraumbüros sind meist raumluftechnische Anlagen (RLT) installiert. Ausreichend frische, gesundheitlich zuträgliche Luft kann damit gewährleistet werden. Ist zusätzlich eine Klimaanlage installiert, so wird auch die Luftfeuchte optimal geregelt. Während in den Zellenbüros die Lüftung durch die Beschäftigten meist individuell geregelt werden kann, ist das in Gruppenbüros nur bedingt und in den Großraumbüros fast gar nicht möglich. Ist die raumluftechnische Anlage schlecht eingestellt oder gewartet, so kann das zu Unzufriedenheit und Klagen führen, insbesondere weil keine direkte Einflussnahme durch die betroffenen Beschäftigten möglich ist. In diesem Zusammenhang soll auf die groß angelegte interdisziplinäre ProKlima-Studie *Bischof* (2003) und *Kruppa* (2003) verwiesen werden, deren Aussagen sich nicht nur auf die Heizperiode beschränken. Die Prüfung von insgesamt 4.592 Arbeitsplätzen in 14 Bürogebäuden ergab, dass Befindlichkeitsstörungen an Büroarbeitsplätzen

hauptsächlich von psychosozialen Faktoren wie Arbeitsanforderung und Arbeitsklima abhängen. Bei modernen und richtig gewarteten Klimaanlageanlagen spielen Raumklima und die Qualität der Raumluft eine eher untergeordnete Rolle.

Bei der **Zufuhr von Außenluft** unter winterlichen Bedingungen ist zu beachten, dass diese Luft sehr trocken ist und es so zu einem Absinken der relativen Luftfeuchte in Räumen, die nicht über eine Klimatisierung verfügen, kommen kann. Das ist physikalisch bedingt, da kalte Luft nur sehr wenig Wasser aufnehmen kann, z.B. bei 0 °C und 50 % relativer Luftfeuchte sind das ca. 2,4 g/m³. Würde diese Luft in einen Raum geleitet und auf 22 °C erwärmt, so ergäbe das theoretisch eine sehr niedrige relative Luftfeuchte von ca. 13 % rel. Praktisch stellen sich im Winter oft Werte von deutlich unter 30 % rel. ein. Eine oft vertretene Auffassung besagt, dass trockene Luft zu einer vermehrten Belastung der Raumluft mit Schwebstaub führt, Haut und die Schleimhäute der Atemwege und Augen trocknen durch die trockene Raumluft aus und werden durch den Staub zusätzlich gereizt, eine erhöhte Infektionsgefahr oder entzündete Augen der Beschäftigten können die Folge sein. Eine entgeltliche wissenschaftliche Klärung dieser Kausalitäten steht allerdings noch aus.

Bei der Bewertung der Lüftung ist weiterhin zu berücksichtigen, dass einerseits ein möglichst hoher Luftwechsel nötig ist, um die o.g. Lasten abzuführen. Ein zu hoher Luftwechsel hat aber andererseits - neben dem Sinken der Luftfeuchte - Energieverluste und Zuglufterscheinungen zur Folge. Praktisch ist ein oft nur schwer zu findender Kompromiss nötig. Für Räume ohne maschineller Lüftung wird deswegen eine **komfortorientierte Bedarfslüftung** empfohlen, die situationsangepasst unter Mitwirkung der Raumnutzer realisiert wird (z.B. Stoßlüftung für ca. 5 min morgens und zu den Pausen). Das führt ohne unnötig hohen technischen Aufwand zu einer Optimierung bzgl. Raumlufthygiene und Behaglichkeit, wobei gleichzeitig ein günstiger Einsatz von Heizenergie erreicht wird. In der DIN EN 13779 werden für Räume mit RLT-Anlagen keine festen Werte für die nötigen Zuluftmengen vorgegeben, sondern es ist in Abhängigkeit von Personenbelegung, Emissionen sowie Heiz-/Kühllasten eine individuelle Berechnung vorzunehmen.

Ein einfaches aber nicht das Problem vollständig lösendes Mittel zur Erhöhung der Luftfeuchte ist die Aufstellung von Grünpflanzen, wobei in der Literatur die Wasserabgabe an die Luft je Grünpflanze in der Größenordnung von 5–20 g/h angegeben wird. Messungen zeigten, dass man aber sehr viele Pflanzen aufstellen müsste, um insbesondere im Winter die Luft nachhaltig zu befeuchten. Pflanzen haben aber einen mit verschiedenen Studien nachgewiesenen positiven Einfluss auf den Menschen (*Wohlbefinden im Büro* 2005).

Fazit: Zu trockene Luft oder die Anreicherung mit Emissionen bleiben vor allem in der Heizperiode ein praktisches Problem in Räumen mit freier Lüftung. Trotz vieler Erkenntnisse sind insbesondere der Einfluss niedriger Luftfeuchten auf den Menschen nicht ausreichend untersucht. Da der Konflikt zwischen niedrigen Luftfeuchten (von der Außenluft) und schlechter Luftqualität (Lasten aus Mensch und Bauteilen) sich nicht trivial lösen lässt, sind hier umfassende Ansätze (Nutzerverhalten, Lüftung/Klimatisierung) weiterzuentwickeln und in handhabbarer Form (Leitfäden) den Beschäftigten zugänglich zu machen.

4.6 Simulationsrechnungen des Raumklimas

Im Rahmen der Planung bzw. der Bewertung des Raumklimas von Gebäuden hat sich in den letzten Jahren die Methode der computergestützten **Simulationsrechnungen** als ein geeignetes und kostengünstiges Instrument erwiesen. Speziell für die **Heizperiode** liegt von *Richter* (2003) ein Handbuch vor, das für verschiedene bau- und anlagentechnische Varianten das sich einstellende Raumklima in Büro-/Wohnräumen anhand der einzelnen Klimaparameter und Klimasummenmaße (PMV, PPD, DR) darstellt und bewertet. Die Einstellung eines behaglichen Raumklimas ist demnach kein grundlegendes Problem, sondern wird durch eine angepasste Auslegung/Dimensionierung und einen ordnungsgemäßen Betrieb erreicht. Hier steht noch eine Erweiterung der Modelle für die Anwendung in hohen Räumen (ab 3-5 bis ca. 15 m in Werkhallen) aus.

Im Gegensatz zur Heizperiode besteht im Sommerfall das Problem, dass eine Beeinflussung des Raumklimas mittels der freien Lüftung nur bedingt und mit technischen Maßnahmen (Klimaanlagen) nur mit hohem Aufwand möglich ist. Mit einem laufenden Forschungsprojekt der BAuA (F 2071 Sommerfall) wird auf der Grundlage von bestehenden Erfahrungen und numerischen Simulationsmodellen ein Datenmaterial geschaffen, das eine objektive Beurteilung der klimatischen Situation in technologisch nicht belasteten Arbeitsstätten (z.B. Büros) und Ableitung von Maßnahmen zur gezielten Beeinflussung des Raumklimas mit RLT-Anlagen unter sommerlichen Bedingungen erlaubt. Dabei werden die wichtigsten Einflussgrößen wie Fensterflächen- und Außenwandanteil, Klima- bzw. Lüftungssystem, konstruktive anlagentechnische Besonderheiten sowie der Luftwechsel beachtet. Die Untersuchungen erfolgen auf der Basis einer gekoppelten Simulation unter Einschluss der Raumluftrömung.

Fazit: Die bereits erfolgten und laufenden Forschungen haben einen hohen Stand bei der Simulation von Raumklimaten im Behaglichkeitsbereich erreicht. Es wird an der Verbesserung der Modelle gearbeitet und andere Situationen (hohe Räume, Nutzungssimulation, Auswirkung von Einrichtungen z.B. PC, instationäres Verhalten) werden mit einbezogen. Eine Überprüfung der Simulationsergebnisse mit Labor- und Feldmessungen steht zur Verifizierung dieser Methoden noch aus.

4.7 Hitzebelastung, Entwärmungsphasen und Klimasummenmaße

Arbeit unter Hitzebelastung ist trotz moderner Technologien auch heute noch ein Problem des Arbeitsschutzes, so finden sich u.a. Hitzearbeitsplätze im Steinkohlebergbau, bei Reparaturarbeiten in Brennkammern oder Kesselanlagen, sowie in der Papier-, Glas- und Stahlindustrie. Auch die Arbeit in einer Großküche oder Wäscherei bei über 35 °C und hohen Luftfeuchten ist mit Hitzearbeit vergleichbar. Auch treten neuerdings Fragestellungen aus dem Freizeitbereich auf, wo das Personal in Saunalandschaften u.a. mit der Gabe von Aufgüssen bei über 100 °C und trockener Luft beschäftigt ist. Zur Bewertung gibt es eine Vielzahl von Ansätzen mit Klimasummenmaßen, von denen ein Teil in der nationalen (vgl. DIN 33403-3) und internationalen Normung verankert sind (Übersicht in DIN EN ISO 11399). Den derzeitigen Stand der Forschung stellen *Kampmann* (2000) und *Parsons* (2003) umfassend dar. Wichtig für eine Gefährdungsanalyse sind Ansätze zur modularen Risikobeurteilung (*Malchaire et al.* 1991, 1999) was in der Norm DIN

EN ISO 15265 praxisorientiert vorliegt. Es wurde wiederholt versucht, die vielfältigen Einflüsse in einer Zahl in Klimasummenmaßen zusammenzufassen. Klimasummenmaße sollen äquivalente Belastungen des menschlichen Körpers für verschiedene Wertepaare wie z.B. Lufttemperatur und Luftfeuchte durch ein und den selben Zahlenwert ausdrücken. Deren Anwendung ist oft mit Problemen verbunden. So lassen z.B. die Extrapolationen von akzeptablen Klimawerten aus dem feucht-warmen Bereich in trocken-warme Klimabereiche mittels dem WBGT-Index (DIN 33403-3) in vielen Fällen zu hohe Trockentemperaturen zu. Ein weiteres Problem ist, dass ein Vergleich bzw. eine Umrechnung von Klimasummenmaßen nur eingeschränkt möglich ist, wenn sie (aus ihren Einzelkomponenten berechnet) nur noch als einzelner Zahlenwert vorliegen (*Pangert et al. 2003, Gebhardt et al. 1999*). Deshalb ist auch ein unmittelbarer Vergleich der verschiedenen Regelungen zur Bewertung von Hitzearbeit nicht ohne weiteres möglich. Speziell zur Ableitung von notwendigen Entwärmungsphasen (Hitzeпаusen) nach der Hitzearbeit gibt es verschiedene Ansätze (*Hettinger et al. 1968; Mairiaux et al. 1985; Pangert et al. 2003*). Die Wärmestrahlung mit einbeziehende Forschungen (*Hettinger et al. 1968, 1991, 1992; Forsthoff 1994, Neuschulz 2003*) können die Aussagefähigkeit der Klimasummenmaße deutlich verbessern. Die meisten Untersuchungen sind jedoch auf trockenwarme Klimate begrenzt. Gerade im feuchtwarmen Bereich liegen aber kaum abgesicherte Untersuchungen vor, wie auch eine systematische Analyse aktueller Klimasummenmaße (*Gebhardt et al. 1999*) gezeigt hat, obwohl diese Klimasituation sehr häufig in der Praxis anzutreffen ist. Zudem werden in der Regel Vorgaben zur Begrenzung der Arbeit getroffen, quantitative Aussagen zu erforderlichen Entwärmungsphasen im Anschluss an eine Expositionsphase fehlen jedoch. Mit einer noch lfd. Forschungsarbeit der BAuA (F1860 Hitzeпаusen) wurden dazu exemplarisch physiologische Untersuchungen in einer Klimakammer in Verbindung mit der Verifizierung des PHS-Modells (DIN EN ISO 7933) durchgeführt. Dieses Modell wurde auf der Grundlage der Auswertung verschiedener Studien von einer internationalen Arbeitsgruppe entwickelt (*Gebhardt et al. 1999*) und stellt ein komplexes Klimasummenmaß zur Vorherbestimmung der Wärmebelastung unter Einbeziehung aller relevanten Einflussgrößen mit Hilfe einer Computerberechnung dar. Erste Ergebnisse des Projektes F1860 Hitzeпаusen deuten auf die Richtigkeit der theoretischen Ansätze hin, jedoch ist auf Grund der geringen Probandenzahl und weil die Wärmestrahlung nur theoretisch mit einbezogen wurde, die Aussagefähigkeit beschränkt.

Fazit: Mit Hilfe von physiologischen Klimakammertests in Verbindung mit der Weiterentwicklung bestehender Klimasummenmaße (z.B. PHS oder WBGT nach DIN EN 27243) könnten praktisch nutzbare Vorgaben zur Bewertung der Hitzebelastung und nötiger Entwärmungsphasen für Hitzearbeit in feuchtwarmen Klimaten mit Wärmestrahlung geschaffen werden. Dabei sollten sich die Randbedingungen an die aktuellen Erfordernisse der Wirtschaft orientieren und die Ergebnisse in eine praxisgerechten Form (Checklisten zur Bewertung des Arbeitsplatzes, Diagramme/Nomogramme zur Ermittlung/Bewertung der Klimasummenmaße) ausgewertet und dargestellt werden. Eine Einbindung in die internationale Normung und nationale Regelung ist damit möglich, wobei hier neben der Begrenzung der Arbeitszeit die Gestaltung der nötigen Entwärmungsphasen (Dauer, dabei mögliche Arbeit) vorzunehmen ist.

4.8 Anpassung von Schutzmaßnahmen bei Kältearbeit

Abweichend von der Zielstellung wird hier neben den Arbeitsräumen auch der Außenbereich betrachtet. Kältearbeit in Räumen (z.B. in Tiefkühlslagern, Kühlhäusern und -kammer, Schlachthäusern) oder auch im Freien (z.B. im Winter in der Land- und Forstwirtschaft, Binnen- und Seeschifffahrt, Reperatur von Energieverteilungsanlagen) ist ein weiterhin aktuelles Thema für den Arbeitsschutz. Dazu liegen zahlreiche Studien (*Forsthoff et al.* 1983, 1990, 1996; *Williamson et al.* 1984; *Griefahn et al.* 1996; *Risikko et al.* 2003) sowie daraus entwickelte praxisorientierte Normen zur Gestaltung der Schutzmaßnahmen vor. Eine Übersicht dazu liefert die Broschüre *Technik 32*. Die nationale Norm DIN 33403-5 gilt für Arbeitsräume mit Lufttemperaturen von +15 °C bis unter -50 °C. Es werden insbesondere die nötigen Bekleidungsmaßnahmen und zulässigen Kälteexpositionen sowie die nötigen Aufwärmzeiten behandelt. Die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung wird nach dem Grundsatz G 21 (BGI 504-21) geregelt, wobei erst ab -25 °C und einer Expositionszeit ab 15 Minuten diese Maßnahme einsetzt. Es sollte überprüft werden, ob sich diese Festlegung in der betrieblichen Anwendung bewährt hat und ob sie aus medizinischer Sicht vertretbar ist.

Der neue Normentwurf E DIN EN ISO 15743 enthält eine umfassende Risikobeurteilung und ein Risikomanagement zu Arbeiten in Kälte, wobei der Außen- und Innenbereich erfasst werden. Eine klare Definition, was unter Kälte verstanden wird, liegt hier nicht vor. Da eine Normung von Arbeitsschutzmanagementsystemen nicht erfolgen soll (ILO-Guide von 2001), ist derzeit noch unklar ob und in welcher Form diese Norm erscheinen wird. Diese enthält aber wertvolle ergonomische Daten, die insbesondere den Außenbereich betreffen. Außen ist im Gegensatz zu Räumen der Einfluss der Windgeschwindigkeit von großer Bedeutung (Wind Chill – Effekt), so wird z.B. bei einer Lufttemperatur von -15 °C und einer Windgeschwindigkeit von 25 km/h eine effektive Temperatur von -25 °C wahrgenommen, was schon zu Erfrierungen von ungeschützter Haut führen kann. Dieser Normentwurf erlaubt eine objektive Bewertung der Risiken bei Arbeit in Kälte, jedoch fehlen z.T. detaillierte Angaben bzw. Untersetzung für die speziellen Schutzmaßnahmen.

Fazit: Analog zu bestehenden Vorgaben für den Innenbereich sollte auf der Grundlage vorhandener Daten für Arbeiten in Kälte im Freien eine nationale Handlungsanleitung zur Risikobeurteilung und für Schutzmaßnahme erstellt werden. Von besonderen Interesse ist hier die Einbeziehung des Windeinflusses. Dabei sollte auch geprüft werden, inwiefern arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nötig sind.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine alle Klimabereiche umfassende und auf die speziellen Belange des Arbeitsschutz ausgerichtete Sichtung aktueller Forschungsaktivitäten (Literaturrecherche, persönliche Kontakte zu Forschungseinrichtungen und Normungsgremien) sowie des Standes in der Regelung und Normung vorgenommen. Es liegt eine breite und fundierte Wissensbasis zu den physikalischen und physiologischen Grundlagen für die thermische Behaglichkeit sowie für die Klimaextreme zum Warmen (Erträglichkeit/Hitze) sowie zum Kalten vor. Die weiterhin große praktische Bedeutung der Klimaproblematik in der Arbeitswelt zeigt sich auf internationaler Ebene in den weit gefächerten Forschungsaktivitäten.

Die existierenden **Handlungsanleitungen zur Bewertung des Klimas** sind zu aktualisieren und auf ihre Akzeptanz in der betrieblichen Praxis zu prüfen. Zur Messung/Bewertung der klimatischen Größen werden oft neben den kommerziellen Geräten auch Produkte aus der Konsumgüterproduktion eingesetzt. Die **Messunsicherheit dieser einfachen Klimamessgeräte** führt oft zu Fehlbewertungen, eine Prüfung dieses Gerätesektors und Handlungsempfehlungen zur richtigen Anwendung sind angeraten.

Die beobachtbaren **Leistungsminderungen durch Abweichungen der Raumtemperatur vom Behaglichkeitsbereich** haben eine große individuelle Streubreite, was oft zu Fehlinterpretationen bei der Beurteilung solcher Situationen führt. Mit einer systematischen Analyse und Ableitung von Handlungsempfehlungen kann ein Beitrag zum objektiven Umgang damit erfolgen und auch die Problematik der **Sommerhitze mit Raumtemperaturen über 26 °C** im Sinne einer kombinierten Betrachtung von technisch/baulichen, organisatorischen und verhaltensorientierten Maßnahmen versachlicht werden. Mittels **Simulationsrechnungen des Raumklimas** können sowohl für diese Problematik als auch für den Fall der **Heizperiode mit trockener Raumluft** Grundlagen für optimale technische Lösungen geschaffen werden.

Im Bereich der Hitzearbeit bestehen Wissensdefizite bei der Beurteilung von **feuchtwarmen Klimaten unter Wärmestrahlungseinfluss** hinsichtlich der tatsächlichen Hitzebelastung, den nötigen Entwärmungsphasen und nach geeigneten Klimasummenmaßen. Hier sind neben der Ertüchtigung bestehender schon weit entwickelter Bewertungsmodelle (PHS), Probandentest zur Validierung dieser nötig.

Für Kältearbeit existiert eine fundierte Datenlage zur Beurteilung der Belastungssituation und für Schutzmaßnahmen, mit einer Handlungsanleitung zu **Schutzmaßnahmen bei Kältearbeit** für spezielle Bereiche (z.B. Arbeiten im Freien unter Windeinfluss) kann hier eine weitere Optimierung erfolgen.

6 Quellenverzeichnis

Handlungsanleitungen, Informationsmaterial:

Arbeitsmappe Klima (1996):

Zentralstelle für Arbeitsschutz in der Hessischen Landesanstalt für Umwelt:
Arbeitsmappe Mensch-Klima-Arbeit. Fachteil: Klimagrundparameter 2. Aufl. Kassel:
1996

Bux (2005): Pressemitteilungen der BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin von 2003 und 2004 sowie 2005 in BAuA aktuell 2/05

Föller (1997):

Föller, P.: Workshop Raumklima- und Lüftungsfragen. Raumklimaparameter –
Beurteilungsgrundlagen und einfache Messtechnik. Karlsruhe: Landesanstalt für
Umweltschutz 1997

Hudelmaier (2005):

Hudelmaier, Jörg: Ergonomisches Praktikum. Klima Messung und Bewertung.
München: Lehrstuhl für Ergonomie Technische Universität München 2005

Köther (2001):

Köther, Reinhard: Betriebstättenplanung und Ergonomie. Planung von
Arbeitssystemen. München: Hanser 2001

LASI LV 16 (1999):

Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik: Kenngrößen zur
Beurteilung raumklimatischer Grundparameter. 1999

Technik 32:

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Ergonomische Gestaltung von
Kältearbeitsplätzen. Dortmund: 2003

Wohlbefinden im Büro (2005):

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Wohlbefinden im Büro. Arbeits-
und Gesundheitsschutz bei der Büroarbeit. Dortmund 2005

Zülch (1999):

Zülch, Gert; Kiparski, Rainer von: Messen, Beurteilen und Gestalten von
Arbeitsbedingungen. Handbuch für die betriebliche Praxis zur Umsetzung
ergonomischer Erkenntnisse.2.Haefner Verlag GmbH Heidelberg 1999

Autoren:

Bischof (2003):

Bischof, Wolfgang; Bullinger-Naber, Monika; Kruppa, Boris; Müller, Bernd Hans;
Schwab, Rudolf: Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in
Bürogebäuden.Ergebnisse des ProKlimA-Projektes.Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
2003

Erlandson (2003):

Erlandson, T.; Cena, K.; Dear, R.: Umweltbedingte und menschliche Faktoren die das temperaturabhängige Wohlbefinden bei Büroangestellten unter heiß-feuchten und unter heiß-trockenen Klimabedingungen beeinflussen. *Ergonomics* 46 (2003), 6, 616-628

Forsthoff (1983):

Forsthoff, Alfons: Arbeit in minus 28 Grad Celsius: arbeitsphysiologische Untersuchungen zur klimatischen Belastung bei Körperarbeit in extrem tiefen Umgebungstemperaturen unter besonderer Berücksichtigung der Kühlhausarbeit. Köln: Schmidt Verlag 1983

Fortshoff (1990):

Forsthoff, Alfons: Kältearbeit im Bereich von -30°C . Vorträge der Informationstagung am 21. und 22. März 1990 Dortmund, BAuA 1990. 174 - 188

Forsthoff (1994):

Forsthoff, Alfons; Neffgen, Hortense: Ein Klimasummenmaß zur Beurteilung von Klimaten mit Wärmestrahlung. *Arb. Wiss* (1993), 4, 16 – 19

Fortshoff et al. (1996):

Forsthoff, Alfons; Griefahn, B.; Bröde, P.: Zur thermophysiologischen Situation von Beschäftigten in mäßiger Kälte. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin* 31 (1996), 4, 168 - 174

Gebhardt (1999):

Gebhardt, Hj.; Kampmann, B.; Müller, B. H.; Peters, H.; Piekarski, C.: Systematische Analyse aktueller Klimasummenmaße für Hitze- und Kältearbeitsplätze. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 1999. Fb 829

Gebhardt et. al. (1999):

Gebhardt, Hj.: Heat Stress – Assessment of the risk of heat disorders encountered during work in hot conditions. Institut ASER. Wuppertal: 1999

Grandjean (1991):

Grandjean, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung. Leitfaden der Ergonomie. 4. Landsberg: Ott Verlag Thun 1991

Griefahn et. al. (1996):

Griefahn, B.; Bröde, P.; Forsthoff, A.: Mäßige Kälte am Arbeitsplatz – eine mögliche Gesundheitsgefährdung. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin* 31 (1996), 12, 496, 498 - 502

Hausladen (2004):

Hausladen, Gerhard; Hellweg, Runa Tabea; Nowak, Wolfgang; Schramek; Ernst-Rudolf; Grothmann, Torsten: 26 °C-falsch verstandener Arbeitsschutz?. *Bauphysik* 26 (2004), 4

Hellwig (2004):

Hellweg, Runa Tabea: Natürlich behaglich – Natürliche Lüftung und Behaglichkeit – Gegensätze?. *gi* 125 (2004), 5, 237 – 244

Hettinger et. al. (1968):

Hettinger, Theodor; Paquin, K. H.; Sucker, Gunter: Kalorienverbrauch und Erholungszeitberechnung. Berechnung der Erholungszeit auf der Basis des Kalorienverbrauchs unter Einschluss statistischer Arbeit und Klimabelastung. 1968

Hettinger et. al. (1990):

Hettinger, Theodor; Noack, M.; Müller, B. H.: Modulares Meßsystem zur Beurteilung des Klimas am Arbeitsplatz. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: 1990

Hettinger et. al. (1991):

Hettinger, Theodor: Belastung und Beanspruchung durch Wärmestrahlung bei unterschiedlicher Effektivtemperatur und Arbeitsschwere. 1991

Hettinger et. al. (1992):

Hettinger, Theodor; Müller, B. H.; Nesper-Klump, U.: Zur Bewertung der Wärmestrahlungsbelastung bei unterschiedlicher Temperatur und Arbeitsschwere. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. 1992

Kampmann (2000):

Kampmann, Bernhard: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau. Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal. Wuppertal 2000

Kruppa (2002):

Kruppa, B.; Bischof, W.: ProKlima - Positive und negative Wirkungen raumluftechnischer Anlagen auf Befindlichkeit und Leistungsfähigkeit und Gesundheit. gi 123 (2002), 2, 88 - 95

Linden (2002):

Linden, A. C. van der; Boerstra, A. C.; Kurvers, S. R.: THERMAL INDOOR CLIMATE AS A BUILDING PERFORMANCE. Proposal for new criteria, design aids and assessment methods in The Netherlands. Thermal indoor climate as a building performance, 2002

Mairiaux et. al. (1985):

Mairiaux, P.; Malchaire, J.: Selbstgewählte Pausen bei Hitzearbeit: Eine Fallstudie. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. 1985

Malchaire et. al. (1991):

Malchaire, J.; Mairiaux, P.: Strategie für die Analyse und Interpretation von Hitzearbeit. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. 1991

Malchaire et. al.

Malchaire, J.; Gebhardt, H. J.; Piette, A.: (1999): Strategy for Evaluation and Prevention of Risk Due to Work in Thermal Environments. Ann. occup. hyg. 43 (1999), 5, 367 - 376

Malchaire et. al. (2000):

Malchaire, J.; Kampmann, B.; Havenith, G.: Kriterien zur Abschätzung von akzeptablen Expositionszeiten in heißer Arbeitsumgebung: ein Überblick. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. 2000

Müller-Arnecke (1999):

Müller-Arnecke, Heiner W.: Workshop Raumklima und Lüftungsfragen. Raumklima und seine Auswirkungen auf den Menschen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 1999

Olesen (2003):

Olesen, Bjarne W.: Kriterien für ein akzeptables Raumklima. Besteht Bedarf für eine neue VDI-Richtlinie?. HLH 54 (2003), 10, 50 - 54

Pangert et. al. (2003):

Pangert, Roland; Bux, Kersten; Frener, Peter: Hitzearbeit – Hitzepausen. ErgoMed (2003), 3, 82 - 89

Pangert (2003):

Pangert, Roland: Sommerhitze in Büroräumen. s.i.s 7 (2003), 8, 300 – 302

Parsons (2003):

Parsons, K. C.: Human Thermal Environments. The effects of hot, moderate and cold Environments on human health, comfort and performance – The principles and the practice. London: Taylor and Francis 1993

Quistorp (2001):

Quistorp, Cornelia von: Hitze- und Lichtschutz an Gebäuden und Büroräumen. Sicherheitsingenieur (2001), 5, 20 - 26

Richter (2003): Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Heizperiode - Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Dresden 2003

Risikko et. al. (2003):

Risikoo, Tanja; Mäkinen, Tina M.; Päsche, Arvid; Toivonen, Liisa; Hassi, Juhani: A MODEL FOR MANAGING COLD-RELATED HEALTH AND SAFETY RISKS AT WORKPLACES. International Journal of Circumpolar Health 62 (2003), 2, 204 - 215

Säppänen (2004):

Säppänen, Olli: Performance decrements vs. temperature, IndoorAir 2004

Schmidt Thews (2000):

Schmidt, Robert F.; Thews, Gerhard; Lang, Florian: Physiologie des Menschen. 28: Springer Verlag 2000

Schweres (2003):

Schweres, Manfred; Lippoth, Karl Ulrich: Beleuchtungs- und Raumklimagestaltung optimieren. Der nächste Sommer kommt bestimmt. Arbeitsrecht im Betrieb (2003), 10, 587 - 591

Williamson et al. (1984):

Williamson, D. K.; Chrenko, F. A.: Studie über Kälteexplosionen in Kühlräumen. Applied ergonomics 15 (1984), 1, 25 – 30

Wyon (1986):

Wyon, D. P.: The effects of indoor climate on productivity and performance. a review. WS and Energi (1986), 3, 59 - 65

Normen:

DIN-Fachbericht 128: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Grundlagen zur Klimaermittlung. 2003

DIN 1946-2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln, ab 05/2005 zurückgezogen). Januar 1994

DIN EN ISO 7730: Ergonomie des Umgebungsklimas - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit. Entwurf, Oktober 2003

DIN EN ISO 7933: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung. Dezember 2004

DIN EN ISO 8996: Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes. Januar 2005

DIN EN ISO 9886: Ergonomie – Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen. 2003

DIN EN ISO 11399: Ergonomie des Umgebungsklimas - Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen. April 2001

DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage. Mai 2005

DIN EN ISO 15265: Ergonomie der thermischen Umgebung - Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen. November 2004

E DIN EN ISO 15743: Ergonomie der thermischen Umgebung - Arbeitspraktiken in der Kälte - Strategie für die Risikobeurteilung und das -management. Entwurf, Juni 2005

DIN EN 27243: Warmes Umgebungsklima; Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature). Dezember 1993

DIN 33403-2: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 2: Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen. August 2000

DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße. April 2001

DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen. Januar 1997

Gesetze, Verordnungen, Regeln, Richtlinien:

ArbSchG: Arbeitsschutzgesetz - vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246, zuletzt geändert am 30.7.2004)

ArbStättV: Arbeitsstättenverordnung - vom 12. August 2004 (BGBl. I Nr. 44, S. 2179)

ASR 5: Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung BArbBl. (1979), 10, S. 103-105

ASR 6: Arbeitsstätten-Richtlinie Raumtemperaturen BArbBl. (2001), 6-7, S. 94-95

BGI 504-30: (bisher ZH 1/600.30) Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 "Hitzearbeiten" 1998

BGI 579: (bisher ZH 1/174) Broschüre: Arbeiten unter Hitzebelastung (Bestellungen direkt bei M.-BG) Arbeitsgemeinschaft der Metall-Berufsgenossenschaften 1992

BGI 899: (2005-01) Beurteilung von Hitzearbeit - Eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen

BGI 5012: (2005-05) Beurteilung des Raumklimas - eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen

EnEV: Energieeinsparverordnung - vom 16. November 2001 (BGBl. I S. 3085) zuletzt geändert 2.12.2004

KlimaBergV: Klima-Bergverordnung - vom 9. Juni 1983 (BGBl. I S. 685)

Sonstige Quellen:

Landgericht Bielefeld (2003): Urteil des Landgericht Bielefeld 3 O 411/01 verkündet am 16. April 2003 (sog. Klimaurteil)
